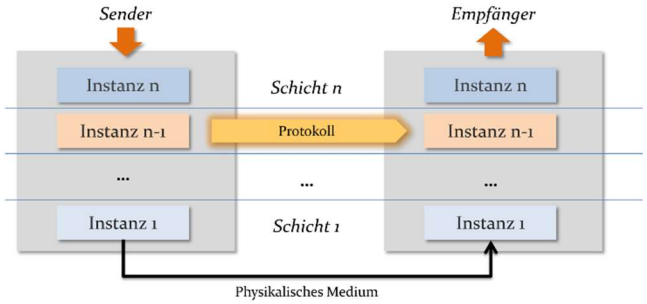
Strukturierung

Strukturierung:

- Einteilung von Aufgaben in Schichten
  - Jede Schicht bietet darüberliegender Dienste an
  - Instanzen einer Schicht interagieren über Protokolle



- Schichten von oben nach unten:

7.	Anwendung	*anwendungsspezifische Protokolle*
6.	Darstellung	*betriebssystemunabhängiges Darstellungsformat*
5.	Sitzung	*Verwaltung von Sitzungen*
4.	Transport	*Ende-zu-Ende Transportdienst (TCP, UDP…)*
3.	Vermittlung	*Adressierung und Routing von Paketen*
2.	Sicherung	*Verpackung in Datenrahmen, versenden der Datenrahmen*
1.	Bitübertragung	*Datenübertragung über Medium*

Grundlagen der Datenübertragung

Einführung:

- Bitübertragungsschicht: **physical layer**
  - physikalische Übertragung von Informationen zwischen Sender & Empfänger
  - Übertragungsmedium und Energieform
    - Daten werden in geeignete Energieform gewandelt, über Medium übertragen, zurückgewandelt
- Transceiver (Transmitter + Receiver) zur Daten-/Energieübertragung → wandelt Daten in Energie um
- Medium: Übertragungswerkzeug für verschiedene Energieformen (Kupferkabel, Luft, …)

Duplex:

- Simplex-Verbindung:
  - Daten von Sender zu Empfänger, kein Rückkanal
  - z.B. Radio, Vorlesung
- Halbduplex-Verbindung:
  - Abwechselndes Senden / Empfangen, Datenrichtung ändert sich
  - z.B. Walkie-Talkie
- Vollduplex-Verbindung:
  - Gleichzeitig Senden und Empfangen, Medium bidirektional benutzt
  - z.B. heutiges Ethernet, Telefon

Datenrate:

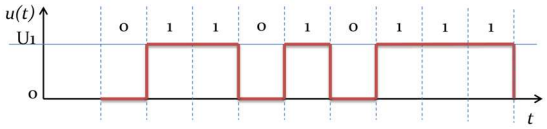
- $R = \frac{N}{t}$ R = Bitrate, N = Anzahl gesendeter Bits, t = benötigte Sendezeit
- **Laufzeit**: Verzögerungszeit zwischen Versenden und Ankunft der Daten (Latenz)

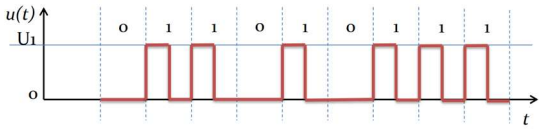
Bitfehlerrate:

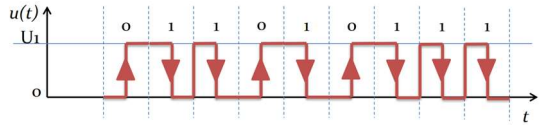
- $BER = \frac{N_{ERR}}{N_{TOTAL}}$ BER = Bit Error Rate, N_{ERR} = Anzahl fehlender Bites, N_{TOTAL} = Anzahl gesendet Bits
- Gründe: Störeinflüsse, Dämpfung durch langen Kanal …
- Verbesserung: verschiedene Kanalkodierungsverfahren, Verbesserung Übertragungstechnik

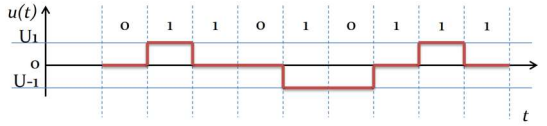
Kodierungsarten:

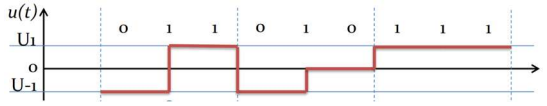
- Kanalkodierung: Hinzufügen von Redundanz, Datenverlust wird vermindert
  - Erhöhung Hamming-Distanz: MindestAnzahl Bits, um die sich 2 Codewörter unterscheiden
    - z.B.: A = 001, B = 010, Hamming-Distanz = 2 (2 Bits um A zu B zu machen)
    - $(h-1)$ Bitfehler erkennen und $\frac{h-1}{2}$ Bitfehler korrigieren
  - Coderate: $R = \frac{k}{n}$ k = Anz. Symbole einer Nachricht, n = Länge des Codewortes
    - Geringe Coderate: geringe Datenrate, besser Fehlerkorrekturfähigkeit
    - Vorwärtsfehlerkorrektur: **FEC**, Kanalcode kann Fehler erkennen und beheben
    - Rückwärtsfehlerkorrektur: **ARQ**, Fehler kann nur erkannt werden, Korrektur: neue Übertragung
- Leitungskodierung Datenrate R, Symbolrate S, Bandbreite B
  - Leitungscodes möglichst hohe Datenraten in möglichst wenig Spektrum → wegen Grenzfrequenz
  - Fourier-Transformation Umwandlung zwischen Zeit- und Frequenzbereich
  - Signalspektrum:
    - Bandbreite: gibt den Frequenzbereich des Signalspektrums an
  - Arten von Leitungskodierungen:
    - NRZ (Non-Return-To-Zero): S = R = B
      - nicht gleichanteilsfrei
      - schlechte Taktrückgewinnung
      - 1 = volles Feld, 0 = leeres Feld
    - RZ (Return-To-Zero): S = 2*R, B = 2*R
      - einfachere Takrückgewinnung
      - doppelte Signalbandbreite zu NRZ
      - Problem langer Nullfolgen
      - 1 = halbvolles Feld, 0 = leer
    - Manchester / BiPhase: S = 2*R, B = 2*R
      - Kein Problem mit langen Nullfolgen
      - gut Taktrückgewinnung
      - 1 = linke Hälfte, 0 = rechte Hälfte
    - MLT-3 (Multi-level Transmission Encoding) S = R, B = ¼ R
      - Niedrige Signalbandbreite
      - Gleichanteilsfrei
      - Nullfolgen-Problem
      - Änderung bei 1, keine Änderung bei 0
    - Ternäre Codes S = $^2/_3$ R
      - Senkung der Bandbreite
      - Umwandlung Binär in Tenär (z.B. 0 1 1 = - +)
    - Quaternäre Codes S = ½ R
      - Weitere Reduktion der Bandbreite
      - Umwandlung Binär in Quaternär (z.B. 0 1 = -1)
      - Verwendung z.B. bei Gigabit Ethernet oder ISDN

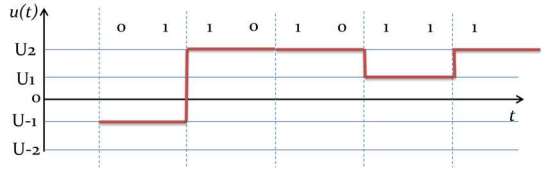






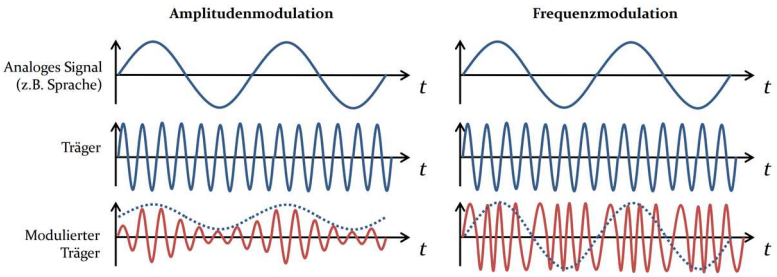




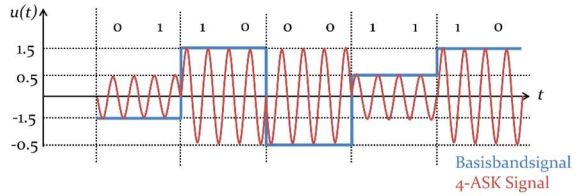


Modulation:

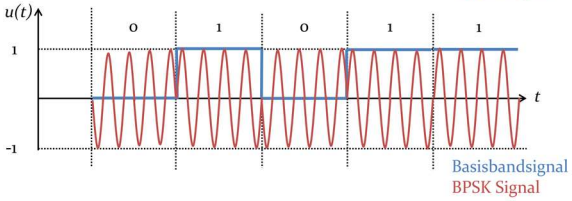
- Basisbandsignal durch Modulation in höheren Frequenzbereich verschieben
- ermöglicht z.B. Übertragung von Funk (Medium ist geteilter Kanal)
  - mehrere Übertragungssysteme teilen sich verfügbares Spektrum → Frequenz-Multiplex / FDMA
  - Signal wird mit Trägersignal multipliziert → wird in Frequenzbereich des Trägers verschoben
- Analoge Modulation (Rundfunk, analoger Sprechfunk)
  - **Amplitudenmodulation** (AM)
  - **Frequenzmodulation** (FM)



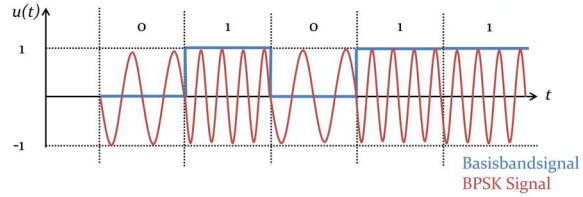
- Digitale Modulation
  - kodierte Impulse eines Digitalsignals werden zur Modulation verwendet (siehe Leitungskodierung)
  - **Amplitude Shift Keying (ASK):**
    - Amplitude wird an Höhe des Basisbandsignals angepasst



  - **Phase Shift Keying (PSK):**
    - Phase wird verändert → bei 0 startet Frequenz „nach unten“, bei 1 „nach oben“



  - **Frequence Shitf Keying (FSK):**
    - Frequenz des Trägersignals wird durch Basisbandsignal umgetastet



- **Quadraturamplituendmodulation (QAM)**
  - statt einem werden zwei orthogonale Träger (Sinus und Cosinus) amplitudenmoduliert und anschließend addiert → wie wenn Amplitude und Phase gleichzeitig moduliert werden

Medien

- **Twisted Pair**: Verdrilltes Kupferkabel
  - CAT 5e: Netzwerkkabel aus Heim-/Büroverne tzung
  - Elektrische Signale
- **Verdrilltes Adernpaar**
  - Differentiale Signale
  - Nutzsignal ist Spannungsdifferenz beider Drähte eines Pärchens
- **Koaxialkabel**
  - Klassisches Antennen- / Fernsehkabel
  - Wellenleiter, Signalasubreitung in Form einer TEM-Welle
- **Lichtwellenleiter**
  - Ausbreitung eines Lichtbündels entlang der Glasfaser
  - für WAMs (Wide Area Networks)

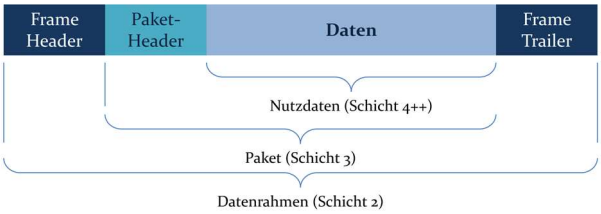
Ethernet Physical Layer Basics

- 100BASE-TX Fast Ethernet:
  - verhält sich wie Full Duplex, sind aber 2 Simplex Kanäle
- 100BASE-T Gigabit Ethernet
  - Vier Vollduplex-Kanäle
  - Daten werden über alle vier Kanäle in beide Richtungen gesendet

Sicherungsschicht

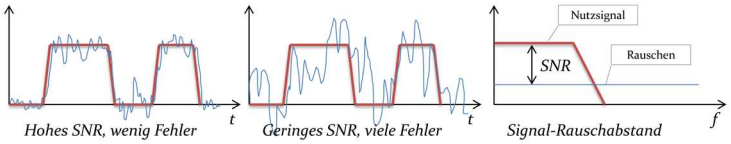
Pakete und Frames

- Erklärung:
  - Daten werden in kleine Einheiten (Pakete) aufgeteilt und stückweise übertragen
  - Time Dvision Multiple Access (TDMA) (auch z.B. Scheduler bei Prozessorzugriff)
- Vorteile:
  - fairer Zugriff aller Teilnehmer gemeinsam genutzte Ressource Netzwerker
  - Responsivität des Systems
  - Fehlerhafte Datenübertragung: Empfänger prüft jedes Paket, im Fehlerfall → 1 Paket neu übertragen
  - Effiziente Netzwerknutzung: Prozess sendet nicht dauerhaft, Leerzeiten nutzbar
    - Hohe Auslastung des Netzwerks möglich
- Definition:
  - Frame: Übertragungseinheiten der Sicherungsschicht (2)
    - MTU (maximale Nutzdatenlänge) : 1500 Byte
    - maximale Framelänge: 1518 Byte
    - minimale Framelänge: 64 Byte (CSMA)
  - Paket: Übertragungseinheit der Vermittlungsschicht (3)
  - Daten in Paketen aufgeteilt, in Frames übertragen
  - Header für Metadaten, Adressierung, Anwendungszuordnung…
  - Netzwerkpaket beinhaltet mehrere Prokolle / Schichten

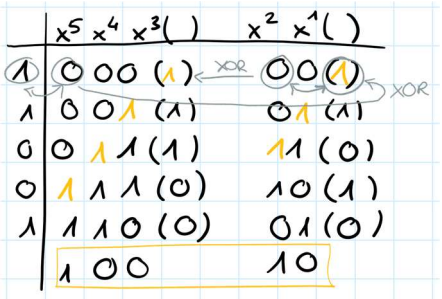


- OSI-Model: Schicht n → nur eigene Headerdaten relevant
  - Encapsulation: beim Versenden, Header an Schicht anfügen, an darunterliegende weitergeben
  - Decapsulation: beim Empfangen, Header jeder Schicht entfernen, an darüberliegende weitergeben
- MAC-Adresse: weltweit eindeutig
  - 6 Byte lang, von IEEE vergeben, erste 3 Byte OUI (Organization Unique Identifier)
  - spezielle Adressen: I/G-Bit (Individual/Group) gibt an ob Uni- oder Multicast-Adresse
    - Unicast: Eindeutige Adresse einer Station (normale MAC-Adresse)
    - Multicast: zuvor festgelegte Gruppe an Stationen
    - Broadcast: alle Stationen dieses LANs/WLANs werden adressiert

Fehlererkennung



- Übertragungsfehler:
  - Elektromagnetische Störungen → Rauschen = Hintergrundstörungen (SNR = Signalrauschabstand)
- Mechanismen Fehlererkennung:
  - **Paritätsbit** Festlegung auf gerade/ungerade Anzahl ‚1'-Bits
    - Prüfung: 2-dimensionale Paritätsprüfung → ein Bitfehler korrigierbar (gleichzeitig Zeilen-/Spaltenprüfung)
    - Vorteile: nur ein Bit zusätzlich
    - Nachteile: gerade Anzahl Bitfehler werden NICHT erkannt
    - Anwendung: serielle Schnittstellen
  - **Checksum** Prüfsumme üer alle Bytes
    - Prüfung: Daten werden als Ganzzahlen interpretiert und summiert
    - Vorteile: wenig Overhead, einfache Berechnung
    - Nachteile: nicht alle Fehler können gefunden werden
    - Anwenung: Netzwerkprotokolle, z.B. IP
  - **CRC** Polynomdivision durch Prüfpolynom (Zuverlässiger als Checksum) (**C**yclic **R**edundancy **C**heck)
    - Prüfung: z.B. CRC-4: 4 0er Bits anhängen, durch 10011 teilen, Rest (4-Bit lang) an Daten anhängen
    - Vorteil: Einfache Realisierung in Hardware durch XOR
    - Anwendung: Ethernet, USB, ISDN,…



Fehlerbehandlung

- FEC: Redundanz in jedem Paket, Prüfzahl immer mitübertragen
- Retransmission: Bei Fehlererkennung → erneute Übertragung
  - Automatic Repeat Request (ARQ): beschädigtes oder verlorenes Paket muss neu verschickt werden (Signalisierung durch Quittung (ACK) des Empfängers)
    - **stop-and-wait ARQ** erneute Sendung erst bei empfangener Quittung oder RTO (Timeout)
      - Auslastung: $U = \frac{t_s}{t_s + 2\,\tau + t_{ACK}}$ $t_S = \frac{N_{Frame}}{R}$ $t_{ACK} = \frac{N_{ACK}}{R}$ $\tau = Laufzeit$
        - bei hoher Laufzeit und/oder kurzen Frames sehr ineffizient
      - Spezialfall von Sliding Window, Sende & Empfangsfenstergröße 1
    - **Sliding Window** n Frames senden ohne auf ACK zu warten (Sendefenster), mit jedem ACK um ein Frame weiterverschieben, hohe Auslastung = hohe Effizienz
      - **Go-back-n ARQ** Sliding Window mit Sendefenster > 1 und Empfangsfenster = 1
        - Empfänger akzeptiert nur das nächste Paket, bei Fehler/Verlust muss ab jeweiligem Paket alles neu gesendet werden
        - z.B. TCP
      - **Selctive Repeat ARQ** Allgemeinster Fall von SW: Sendefenster = Empfangsfenster
        - Empfänger teilt Sender die Sequenznummer ungültiger Pakete zu → entsprechendes Paket neu senden
        - z.B. TCP SACK (Selective ACK) = Selective Repeat ARQ

Technologien Lokaler Netzwerke (LANs)

Definition / Einteilung

- LAN = Local Area Network

Aufgaben des Netzwerks

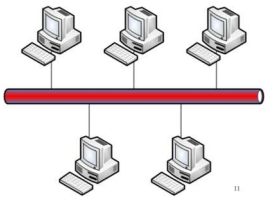
- Adressierung (wohin muss eine Nachricht)
- Kollisionsvermeidung (Zugriffskontrolle auf gemeinsame Ressourcen)
- Topologie (hohe Kapazität, Effizienz, Bezahlbarkeit) → Struktur
- Balance zwischen Skalierbarkeit, Kosten und Geschwindigkeit

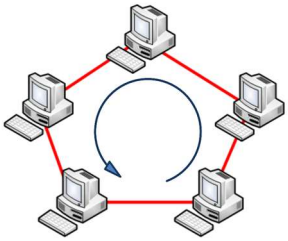
Punkt-zu-Punkt Topologie

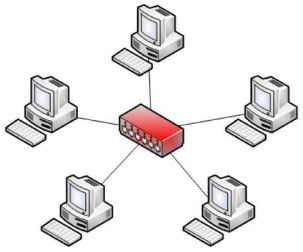
- Vollvermaschtes Netz (Verbindung von allen Knoten untereinander)
  - n Stationen, k Verbindungn $k = \frac{n^2 - n}{2}$
- für Fernnetze (WANs)

Topologien mit geteilten Ressourcen

- Bus:
  - alle Teilnehmer an ein gemeinsames Kabel
  - Einfache Kabelführung, wenige Leitungen
  - Kollisionen, keine 100% Auslastung möglich
  - z.B. CAN, Half-Duplex Ethernet
- Ring
  - jeder Teilnehmer mit 2 anderen verbunden (Ringform)
  - keine Kollisionen
  - niedrige verfügbare Kapazität
  - IBM Token Ring (Logisch), FDDI
- Stern
  - jeder Teilnehmer mit Switch verbunden
  - keine Kollisionen, volle Kapazität für jeden Knoten
  - Single Point Failure
  - z.B. Modernes Full Duplex Ethernet





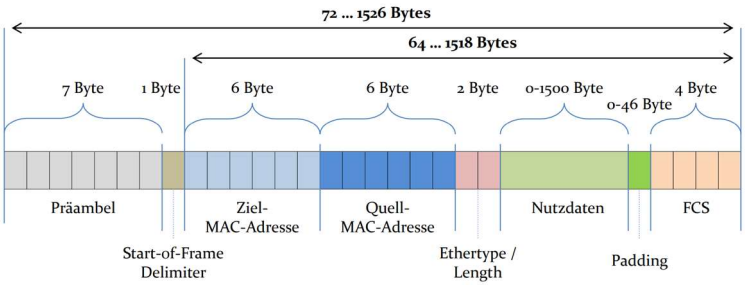


Half-Duplex Ethernet

- Bus-Topologie
- Während Quellrechner sendet, müssen alle anderen „ruhig“ sein
- Kollisionserkennung:
  - CSMA/CD
    - Medium prüfen ob gerade gesendet wird
    - Sender prüft während Übertragung ob die sendenden Bits seinen entsprechen → wenn nicht = Kollision
    - zufällig lange Zeit warten & Neustart

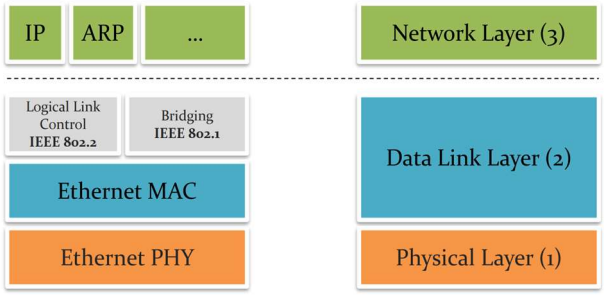
Der Ethernet-Frame

- Präambel: wiederholte 010101 zur Uhr-Sync.
- SFD: Startzeichen
- MAC-Adressen: 6 Byte Ziel/Quelladresse
- Length: Länge des Pakets (>1536: Ethertype)
- Padding: Füllzeichen, Mindestlänge 64 Byte
- FCS: CRC-32 Checksumme



Full-Duplex Ethernet

- Stern- statt Busstruktur
- CSMA/CD ist noch integriert, wird wegen Switches aber nicht mehr benötigt
- Switch leitet Paket anhand Zieladresse weiter
  - mit Puffer und Warteschlangen
  - Store and Forward Frame wird komplett empfangen, gespeichert und wieder versendet
  - Cut Through Switch beginnt Frame auf Zielport zu versenden, sobald er Ziel MAC-Adresse hat
- Switch lernt MAC-Adresse von Ports beim einschalten
  - wenn DST-Adresse noch unbekannt ist → Frame wird an alle Ports gesendet (Flooding)
- Virtual LANs
  - Seperation des LANs im Switch durch virtual LANs (VLAN), Stationen im selben VLAN können miteinander kommunizieren, Broadcast nur für jeweiliges VLAN
  - Port-based VLAN
    - Ports sind VLAN zugewießen, Enknoten wissen nichts über VLAN
    - jedes VLAN muss bei Verbindung von Switches extra verbunden werden
  - Tagged VLAN
    - VLAN-Zuordnung in zusätzlichem Header-Feld
    - für Verbindung von Switches besser geeignet
  - Layer-3 Switches können zwischen VLANs routen
  - Vorteile:
    - hohe Flexibilität, Partitionierung in Subnetze nicht von räumlicher Lage abhängig, schnell änderbar, Isolation sensibler Daten



IEEE 802.3

WAN-Technologien

- ATM (Asynchronus Transfer Mode)
  - WAN, LAN
  - Switched, Multiplexverfahren, für DSL
- SONET/SDH (Synchronus Optical Network, Synchronus Digital Hierarchy)
  - WAN
  - Multiplexverfahren für optische digitale Datenübertragung
  - Backbone-Infrastruktur vieler Provide, ATM wird darüber transportiert

Internetworking

Einführung

- Zusammenschluss unzähliger LANs und WANs, mit der Aufgabe des weltweiten Datenaustausches

Internetworking

- zwei unabhängige Netze werden mithilfe eines Routers verbunden → Schicht 3 = Vermittlungsschicht
  - Router besitzt verschiedene Netzwerkinterfaces, für jedes Netz eine
  - pro Netz Sicherungs- und Bitübertragungsschichtinstanz
  - Wegewahl anhand weltweit einheitlicher, hierarchischer Netzwerkadressen = Routing
- schnell komplexe, vermaschte Struktur aus durch Router verbundenen Netzten
  - Router sind Knoten, Netze sind Kanten
  - Wegewahl: Router pflegt seine Routingtabelle, „**nextHop**“ anhand verschiedener Kriterien
    - Verfahren zur Bestimmung heißt **Routing-Algorithmus**
  - **Routing-Protokolle** für Austausch von Routing-Informationen zwischen den Routern

Die Struktur des heutigen Internetzes

Hierarchischer Aufbau:

1. Lokale Netze und Endsysteme (LAN)
   - kleinste Einheit = Nutzer des Internets
2. Zugangsnetze (AccesNetworks) (WAN)
   - Sorgen für Anbindung der Endsysteme, „Anschluss“ an Internet (ADSL-Wählleitung …)
3. Kernnetze (Internet Backbone) (WAN)
   - Transport gewaltiger Datenmenge zwischen einzelnen Routern
   - High-Performance WAN
   - von ISPs (Internet-Service-Provider) und Netzbetreibern
   - ISBs verbinden ihre Netze untereinander und verkaufen einander Transit-Dienste

- Autonome Systeme

  Gruppe von IP-Netzen und Routern, die von ISP verwaltet werden

  durch weltweit eindeutige 32 Bit-Nummern (**ASN**) benannt, die von den **RIR** verwaltet werden

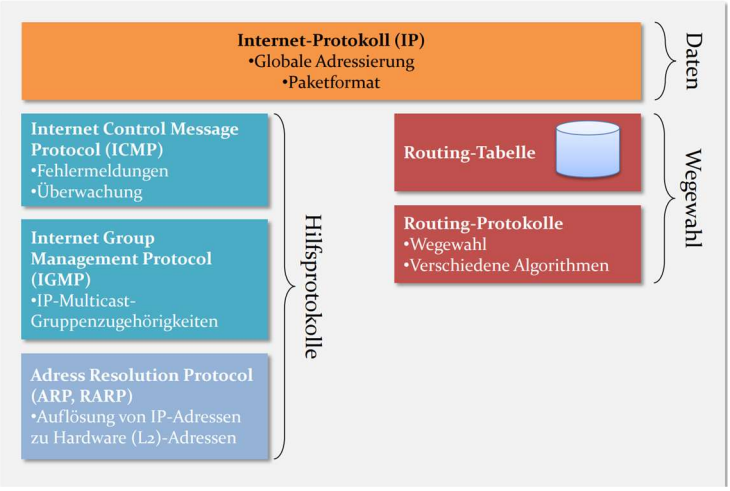
  Routing-Politik
  - Wegewahl wird über **IGP (Interior Gateway Protocol)** vorgenommen
  - Zwischen den AS wird Wegewahl durch Border Router mittels **EGP (External ..)** durchgeführt

Adressierung und Wegewahl im Internet

- IP-Adresse für jeden Computer im Internet

  teilt sich in Netzwerkadresse (Subnetz → WAN / LAN) und Host-Adresse
- Routing im Internet anhand Netzwerkadresse

  Ziel Einträge in Routing-Tabelle sind Netzwerkadressen (= Host-Adresse des Routers im eigenen Netz)



Adressen des Internet-Protokolls

IP-Adressen

- IPv4 4 Oktette (Bytes) bzw. 32-Bit Ganzzahl
  - Aufteilung: Netzwerk-ID (Präfix) und Host-Adresse (Suffix)
  - 9 Adressen / km^2 der Erde
  - Darstellung:
    - Jedes Oktett als vorzeichenlose Ganzzahl und durch Punkt getrennt
    - Adressbereich 0.0.0.0 bis 255.255.255.255

```
IPv4:                194.      28.     225.      10
Binär:             1100010.00011100.11100001.00001010
```

- IPv6 128 Bit Länge
  - Aufteilung wie IPv4 in Netzwerk-ID und Host-Adresse
  - 667 Billiarden Adressen / mm^2 der Erde
  - Darstellung:
    - Je zwei Bytes der Adresse als Hexadezimalwert und durch Doppelpunkt getrennt

```
IPv6:              2001:0000:02c4:0000:0000:a12b:0001:abc0
Binär:             0000 0100 0000 0001: ...
```

    - Führende Nullen können weggelassen werden:

```
IPv6 w/o Null:     2001:0:2C4:0:0:A12B:1:ABC0
```

    - aufeinanderfolgende Null-Gruppen dürfen 1x/Adresse durch `::` abgekürzt werden:

```
IPv6 gekürzt:      2001:0:2c4::a12b:1:abc0
```

    - in URL muss IPv6 in eckige Klammern:

```
                   http://[2001:0:2c4::a12b:1:abc0]:8080/index.html
```

- Zusammensetzung:

Präfix	Netzwork-ID (vordere n Bit der IP)	Netzwerkadresse
Suffix	Interface-ID	Rechner/Interface innerhalb des Netzes

- Netzwerkadresse ist weltweit eindeutig, wird koordiniert durch die IANA bzw. RIR
  - Router müssen nur Netzwerkpräfixe wissen, Suffixe werden innerhalb des Netzwerks vergeben

Subnetze

- Alle Hosts mit der selben Netzwerkadresse
  - Adresse eines Subnetzes: Präfix mit dem kleinsten Suffix
- Subnetzmaske: Gibt Anzahl n der Präfix-Bits an
  - Anzahl Bit der Netzwerk-ID wird mit /n an Adresse gehängt
  - Präfix besteht bei Subnetzmaske aus 1en, Suffix aus 0en

```
                         194.      28.     225.      10/24
IPv4-Adresse:      11000010.00011100.11100001.00001010
Subnetzmaske:      11111111.11111111.11111111.00000000
                                             Präfix|Suffix
```

- Adressraum: 2^{32-n} oder 2^{128-n} mögliche Suffixe
  - zwei Suffixe reserviert:
    - kleinstes Host-Suffix: z.B. `xxx.xxx.xxx.0` (bei /24) steht für das gesamte Subnetz (Netzwerkadresse)
      - UND-Verknüpfung aus IP-Adresse und Netzwerkmaske (bitweise)
    - höchstes Host-Suffix: z.B. `xxx.xxx.xxx.255` stellt die Brodcast-Adresse dar
- Subnetzmaske mit n bits kann 2^n verschiedene Netzwerke bilden (2^8 = 256,…)

- Aufteilung Netzwerke

  Netzwerkklassen (**classful addressing**) Klasse aus den erste 4 Bit der IP lesbar

  - Class A /8 = 256 Netze 0000 – 0111
  - Class B /16 Netze 1000 – 1011
  - Class C /24 Netze 1100 – 1101
  - Class D Multicast 1110
  - Class E Reserviert 1111

  CIDR = Classless Interdomain Routing

  - beliebige Länge der Subnetzmaske (keine Verschwendung von IP-Adressen)
  - Ehemalige Klassen sind Spezialfälle von CIDR

  in IPv6 keine Klassen mehr

Vergabe von IP-Adressen

- Koordination Adressräume

  Unternehmen / Netzkunde erhält Präfix von ISP

  ISP erhält Netzwerknummer von zuständiger RIR (Regional Internet Registry) (EU: RIPE NCC)

  RIR unter Verwaltung von IANA (Internet Assigne Numbers Authority)

- Adressräume können durch verändern der Subnetzmaske (/23 zu /25 = Vervierfachung) aufgeteilt werden

Private IPv4-Adressen

- Netzwerknummern, die für private Subnetze ohne Beantragung verwendet werden dürfen (nicht im globalen Internet sichtbar, wegen Eindeutigkeit)

  Netze ohne Internetanschluss

  Netze die via NAT ans Internet angeschlossen sind

- Klassen:

  Class A `10.  0.0.0/8`

  Class B `127. 16.0.0/16`

  Class C `192.168.0.0/16`

- NAT (Network Address Translation)

  private IP Adressen der Hosts eines Subnetzes werden durch NAT in eine oder mehrere global gültige Adressen übersetzt

  Router versteckt NAT Adressen hinter seiner eigenen, globalen

Spezielle IPv4-Adressen

- Addressen über die ganze Netzwerke oder Gruppen von Computern angesprochen werden können

  Netzwerkadresse Adresse des Netzwerks

  - niedrigste Adresse des Netzwerks (für Routingtabellen)

  Gerichtete / begrenzte Broadcast-Adresse Adressiert alle Hosts eines Netzwerks/lokalen Netzwerks

  - gerichtet: Suffix sind 1-er Bits (soll alle Hosts im Netzwerk ansprechen)
  - begrenzt: Adresse besteht aus 1-er Bits (255.255.255.255) (z.B. für DHCP-Server)

  `0.0.0.0`-Adresse Unspezifizierte IP-Adresse

  - wird benutzt, wenn Host seine eigene Adresse nicht kennt

  Loopback-Adresse (localhost) Adressiert eigenen Computer

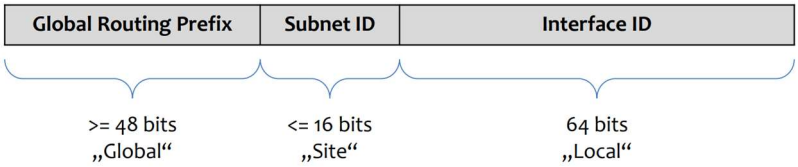
  - werden dem eigenen IP-Stack zugestellt Adresse: 127.0.0.0/8 localshost: 127.0.0.1
  - für Fehlerdiagnose oder Kommunikation zweier Netzwerkapplikationen auf selbem Computer

IPv6 Adresstypen:

- Unspecified (wie in IPv4)
  ::/128
- Loopback (wie in IPv4)
  ::1/128
- Scoped
  Link local
  - wird automatisch für jedes Interface generiert (wird nicht geroutet)
  - fe80:0:0:0:<Interface-Identifier>

  Unique local unicast
  - private Adressen, wie site local, vgl. private IPv4 Adressen
  - fc00::/7 fd00::/7

  Global unicast
  - normale, globale IPv6-Adresse
- Multicast



Routing im Internet

Einführung

- Wegewahl im Internet: Next-Hop Entscheidung
- verschiedene Weiterleitungsverfahren:
  - Datagramm-Routing: Wegewahl für jedes Paket unabhängig vom Ziel (IP)
  - Session-Routing: Wegewahl beim Verbindungsaufbau (ATM oder X.25)
- Komponenten:
  - Routing-Protokoll: Austausch von Routinginformationen zwischen Routern
  - Routing-Algorithmus: Wahl von Wegen im Netz
  - Routing-Tabellen: Halten von Weginformationen (Wegweise für Datenpakete)

Routingtabelle

- Aufbau:
  - Next-Hop: Nächster Router auf dem Weg zum Zielnetzwerk (Eingangsadresse)
  - Schnittstelle: Netzwerkinterface des Routers für Next-Hop (Ausgang aus Router)
  - Metrik: Kostenindex aus versch. Faktoren (Hopcount, Kosten, Last, Bandbreite)
  - günstigste Route (Least-Cost) wird gewählt
- Netzwerkfehler: Eintrag in Routingtabelle muss ersetzt werden

Statisches Routing

- Erstellung / Pflegen der Einträge in RT von Hand
  - Vorteile: Kein Overhead durch Routing-Protokolle, Kontrolle über einzelne Router
  - Nachteile: Keine Fehlertoleranz, schnell unüberschaubar / komplex

Distance-Vector-Routing

- Prinzip: Router speichern Matrix mit bester Metrik, Matrix an andere Router leiten & von anderen lernen
  Protokolle: RIP, IGRP, BGP-4
  Nach bestimmter Konvergenzzeit → Routingtabelle final mit günstigsten Wegen
- Count-to-Infinity Problem: Wegen möglichen Schleifen & Netzwerkfehlern kann Hop-Count unendlich werden
  Abhilfe:
  - max. Hopcount festlegen, bei „Unendlichem“ Weg wird Router nicht benutzt
  - Split Horizon: Router darf keine der Routen an Interface, über die er gelernt hat, zurücksenden
  - Split Horizon with Poison Reverse: Nachbar nicht erreichbar → Route wird „unendlich“ gesetzt & vergiftet

Link-State Routing

- Prinzip: Alle Router lernen Topologie des Netzes → eigenen Nachbar lernen und allen anderen mitteilen, Algorithmus zum Berechnen der günstigsten Route

  Protokolle: OSPF, IS-IS

  Hello-Pakete an Nachbarn, LSA (Link State Announcements) werden gefloodet

  kürzeste Wege durch Dijkstra's Algorithmus

  - eintragen kürzesten Weg von Startknoten in Knoten
  - falls Weg kürzer wird über andere Zwischenknoten → neuen Weg eintragen & Vorgänger speichern

	Distance Vector	Link State
Lernweise	Aufgrund der Sichtweise der Nachbarn ("Routing by rumors")	Direkt von der Quelle
Updates	Periodisch (RIP: alle 30s)	- Bei Neustart und Änderungen - Periodische Hello-Pakete (Nachbarerkennung)
Pfadermittlung	Übernimmt neue/bessere Informationen der Nachbarn durch Addition der Vektoren	Dijkstra Algorithmus
Vorteile	Geringe Anforderungen an Router → billiger	Schnell
Beispiele	RIP, RIPv2, IGRP, EIGRP, ~~BGP-4~~ BGP-4	OSPF, IS-IS

Autonome Systeme

- Innerhalb AS: Routing mit IGP (OSPF, IS-IS, RIPv2)
- Zwischen den AS: Routing mit EGP (BGP-4)

  riesige BGP-RT: Routen oft manuell → politische / kommerzielle Gründe

Routing-Protokoll	Komplexität	Einsatz
RIP/RIPv2	Sehr einfach	Kleine Netzwerke ohne hohe Anforderungen, weit verbreitet
IGRP	Einfach	Veraltet
EIGRP	Komplex	Kleine bis große Netzwerke, weit verbreitet. Proprietär
OSPF	Sehr komplex	Kleine bis große Netzwerke. Vorwiegend verwendetes Routing Protokoll. Empfehlung der IETF
IS-IS	Komplex	Kleine bis große Netzwerke. Einfacher als OSPF → vermehrt eingesetzt. ISO-Norm
BGP-4	Komplex	Derzeit einzig eingesetztes Exterior Gateway Protokoll

Routing-Protokoll	Komplexität	Max. Größe	Konvergenz-Zeit	Zuverlässigkeit	Protokoll-Verkehr	Administrative Distanz
RIP/RIPv2	Sehr einfach	15 Hops	Bis zu 480 s	Nicht absolut Schleifenfrei	Hoch	120
IGRP	Einfach	255 Hops	< 480 s	Mittel	Mittel	100
EIGRP	Komplex	224 Hops	<< 480 s	Hoch	Mittel	90
OSPF	Sehr komplex	Tausende Router	Schnell (einige Sekunden)	Hoch	Gering/ Abhängig	110
IS-IS	Komplex	Tausende Router	Schnell	Hoch	Gering/ Abhängig	115
BGB-4	Komplex	> 100.000 Netzwerke	Schnell	Sehr hoch	X	20

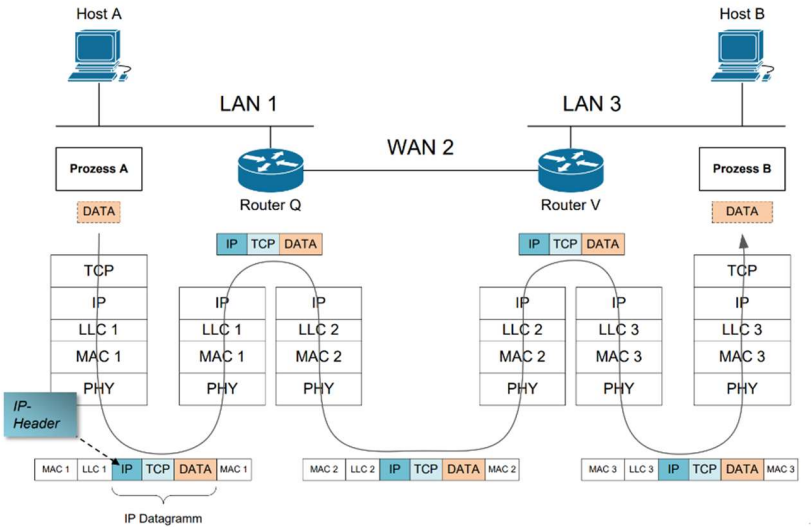
Das Internet-Protokoll

Einführung

- gemeinsame Sprache aller Internet-Hosts
- besteht aus:
  - Paketkopfaufbau (HeadeR)
  - Adressierung
  - Fragmentierung
  - Verschiedene Dienste
- IP benötigt noch weitere Protokolle:
  - ARP: Adressauflösung
  - ICMP: Kontrollbotschaftern zur Fehlersuche / Netzwerkanalyse

Eigenschaften des Internet-Protkolls

- paketvermittelnd, verbindungslos (individuelle Vermittlung von Datagrammen) und ungesichert (Datagramme können verloren gehen, dupliziert werden …)
- Dienstgüte (QoS): Best Effort (Zustellung so gut wie möglich, keine Stau-/Flusskontrolle)



IP-Paketkopf (Header)

IPv4:

- Version, Header Length, ToS (Type of Servie), Total Length, Identification, Flags, Fragment Offset, TTL (Time-to-Live), Type, Header Checksum, Source IP Address, Destination IP Address, IP-Options, Padding

IPv6:

- Version, Traffic Class, Flow Label, Payload Length, Next Header, Hop Limit, Source/Destination Address
- Extension Header: Zusätzliche Informationen, nur bei Bedarf angehängt

Fragmentierung und Reassemblierung

- Maximum Transmission Unit (MTU) maximale Nutzdatenlänge/Paket innerhalb eines Netzwerks
- Fragmentierung: Aufteilung eines Datagramms in Fragmente < MTU, wird durch Router vorgenommen
- Header-Informationen:
  - Flags: gibt an ob weitere Fragmente folgen oder nicht
  - Offset: Gibt Position im Original-Datagramm an (für Reassemblierung)
- Fragmentierung in Vielfachen von 8 Byte-Größe
- Reassemblierung:
  - Zielhost wartet maximale Zeit lang auf eintreffen fehlender Fragmente
  - bei Eingang des letzten Fragments → zusammensetzen bzw. reassemblieren
  - wenn Fragmente fehlen werden alle Fragmente des Datagramms verworfen

IP-Multicast

- Adressierung einer Gruppe von Teilnehmern
- IP-Adressbereich:
  - IPv4: `224.0.0.0` bis `239.255.255.255`
  - IPv6: `ff00::/8`
- **IGMP (Internet Group Management Protocol)** Verwaltung Gruppenzugehörigkeit

SourceRouting

- Vorgabe welche Router ein Datagramm passieren muss
  - Loose: muss unter anderem diese Router passieren
  - Strict: darf keine anderen Router passieren
- Optionsfeld: Loose = Option 3, Strict = Option 9
- Ablauf: 1. Eintrag in Liste ist Zieladresse, beim passieren immer 4 Byte weiterschieben bis Liste leer

Route Recording:

- passierte Router werden als Liste im Optionsfeld gespeichert → zur Rückverfolgung

Adressauflösung

- IP-Adresse muss zur Zustellung in MAC-Adresse umgewandelt werden
- Methoden:
  - IPv4: ARP
    - erhält IP, Broadcast (Anfrage Zuteilung IP)
    - Host mit IP teilt MAC-Adresse mit (wenn vorhanden)
    - IP- & MAC-Adresse werden temporär in ARP-Cache gespeichert
  - IPv6: ICMPv6 (bzw. Neighbor Discovery Protocol)
    - Funktionsweise wie ARP, aber verwendet ICMP-Messages
    - bietet zusätzliche Dienste: Router-Discovery, Adressduplikate erkennen, Parametererkennung

Internet Control Message Protocol ICMP

- zum Austausch von Fehlermeldungen und Zustandsinformationen
  - Ziel/Port nicht erreichbar
  - Ping (Echo-Anfrage/Antwort)
  - …

Transportschicht im Internet

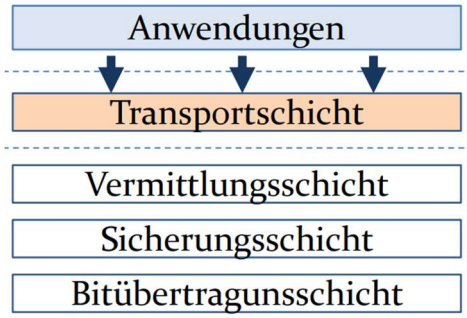
Einführung

- Schicht 4 im OSI-Modell

Ende-zu-Ende Protokolle

- Protokoll zwischen Endpunkten einer Kommunikation
- Wegfindung/Kommunikation durch Schicht 3 gewährleistet
  - Transportschichtinstanzen kennen nur Transportschicht der Gegenseite

Aufgaben der Transportschicht



- löst anwendungsabhängige Probleme der Netzwerkkommunikation
- Grenze zwischen
  - Benutzern des Netzes (Applikationen)
  - Bereitstellern des Netzes (darunterliegende Schichten)
- Aufgaben
  - Bereitstellung zuverlässigen Dienst zur Übertragung
  - Verbergen der darunterliegenden Komplexität
  - Adressierung von Anwendungen
  - Multiplexing der Daten versch. Anwendungen
  - Bereitstellung Programmier-Schnittstelle (API)

Anwendungsadressierung

- Multiplexing
  - Mehrere Anwendungen nutzen gleichzeitig die selbe Netzwerkschnittstelle → Zuordnung Datenpakete
  - IP kann nicht zwischen verschiedenen Anwendungen unterscheiden (sendet Daten an Computer)
- Transportadressen
  - Anwendungen werden durch Transportadressen adressiert
  - **Transport Service Access Point (TSAP)** → Ports (Softwareports, keine Hardware Ports)
    - Service Access Point:
      - Zugangspunkt des Dienstes einer Schicht
    - Ports
      - Adressierung der Anwendungen anhand von Portnummern
      - Zieladresse steht im Transportschicht-Header
      - Quellportnummer für Antwort
- Sockets
  - Anwendungsschnittstelle = Socket
  - Socket-Adresse = IP-Adresse + Portnummer

`IP:Port` `192.168.1.11:1234`

- Wahl von Portnummern
  - Festlegung (allgemeine Client-/Server-Architektur)
    - Server wartet auf Port für Anfragen
    - Client-Software verwendet Server-Port für Anfragen
  - Well-known Ports (Standartisierte/Häufig verwendete Anwendungen) (0-1023)
    - Webserver verwenden im Allgemeinen Port 80 = HTTP (TCP)
    - Clients verwenden well-known Ports für Anfragen

Eigenschaften von Transportprotokollen

- Verbindungen (TCP)
- Verbindungsloser Programmdienst (UDP/SCTP)
- Zuverlässigkeit (TCP/SCTP) / Fehlererkennung …

Transmission Control Protocol (TCP)

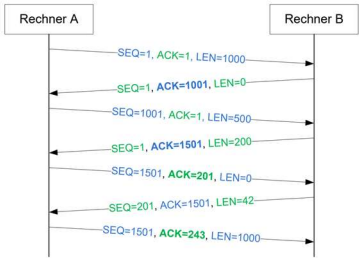
- wichtigstes und am häufigsten verwendetes Transportprotokoll im Internet
- Eigenschaften:
  1. Verbindungsorientiert
  2. Zuverlässiger Dienst
  3. Geordnete Datenübertragung (sortierte Übergabe der Daten an Anwendung)
  4. Flusskontrolle (Empfangsfenster)
  5. Stauvermeidung (Sendefenster)
  6. Full-Duplex
  7. Stream-Orientierung (Aufteilen in Segmente / Zusammensetzen übernimmt TCP)
- Paketaufbau:
  - Source/DST Port, Sequence Number (Durchnummerierung nach Bytes), Acknowledgement (Quittierung mit nächster erwarteter Sequenznummer), Header Length, Flags, Window Size (Empfangsfenster), Checksum, Urgent Pointer, Options
- Phasen:
  1. Verbindungsaufbau (beidseitiges Versenden eines Segment's mit SYN-Flag und ACK)
  2. Datenübertragung (beide Richtungen)
     - Versendung mit Seq-Nummer des 1. Bytes, ACK mit nächsten erwarteten Seq-Nummer (Seq + Länge + 1)
     - ACK nur wenn lückenlos übertragen wurde (kein ACK = Retransmit)
  3. Verbindungsabbau (beidseitiges Versenden eines Segment's mit FIN-Flag und ACK)
- Fast Retransmit

  ACK wird nach jedem empfangenen Segment gesendet → bei Lücke wird gleiches ACK 2x gesendet & Retransmit gestartet
- Flusskontrolle / Window Size

  Puffer für Anwendung hat nur bestimmt große Größe

  Empfänger teilt Sender mit ACK den verbleibenden Platz im Empfangsfenster mit

  Sender sendet nur wenn WIN-Größe > 0



- Staukontrolle

  TCP Sendefenster: nur n unbestätigte Bytes gleichzeitg versenden

  TCP Slow Start
  - zu Beginn n = 1 MSS (Maximum Segment Size)
  - für jedes empfangene ACK wird n um 1 MSS erhöht
  - Verdopplung von n bis Schwellwert, danach steigt n linear (Congestion Avoidance)
  - Timeout → n = 1 MSS, CA-Schwelle auf Hälfte der aktuellen Fenstergröße

User Datagram Protocol (UDP)

- neben TCP eines der meistverwendeten Transportschichtprotokolle
- Eigenschaften
  1. Verbindungsloser Dienst (vgl. Telegramm)
  2. Unzuverlässiger Dienst (keine Quittierung
  3. Nachrichtenorientiert (jedes Datagramm ist einzelnes IP-Paket)
  4. 1-to-many interaction (Nachrichten können an/von einem/mehreren Empfänger/Sender)
- Folgerung
  - einfacher und undkomplizierter als TCP, schnell, hat wenig Overhead
  - unzuverlässige Datenübermittlung (Telefonie, Medienstreaming)
- Headerdaten
  - Source-/DST-Port, Message Length, Checksum (optional)

Weitere Protokollbeispiele

- SCTP (stream Control Transmission Protocol)
  - Kompromiss zwischen UDP und TCP, für Reliable Server Pooling
- Scalable TCP
  - wie TCP, aber modifizierter Congestion Control Mechanismus